



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

①2 Offenlegungsschrift  
①0 DE 44 18 124 A 1

⑤1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
G01 R 31/02  
H 02 H 7/26

②1 Aktenzeichen: P 44 18 124.8  
②2 Anmeldetag: 24. 5. 94  
②3 Offenlegungstag: 1. 12. 94

DE 44 18 124 A 1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1  
25.05.93 JP 5-122956

⑦1 Anmelder:  
Hitachi, Ltd., Tokio/Tokyo, JP; Tohoku Electric  
Power Co., Inc., Sendai, Miyagi, JP

⑦4 Vertreter:  
Strehl, P., Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.;  
Schübel-Hopf, U., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Groening,  
H., Dipl.-Ing.; Lang, G., Dipl.-Phys.; Rasch, M.,  
Dipl.-Ing. Univ.; Frhr. von Brandis, H.,  
Dipl.-Phys.Univ., Pat.-Anwälte, 80538 München

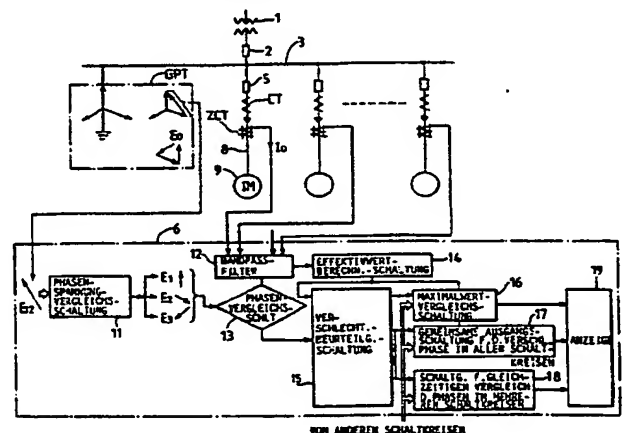
⑦2 Erfinder:  
Saruta, Haruo, Mito, Ibaraki, JP; Fujita, Yasunobu,  
Hitachi, Ibaraki, JP; Abe, Hironobu, Sendai, Miyagi,  
JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Vorrichtung zum Erkennen einer Isolationsverschlechterung an Stromversorgungsleitungen

⑤7 Es wird eine Vorrichtung (6) zum Erkennen einer Leitungsverschlechterung in einem Stromversorgungssystem angegeben, mit einem mit einer Spannungsversorgung (1) verbundenen Bus (1), mehreren mit dem Bus verbundenen Schaltkreisen, die jeweils über einen Nullspannungstransformator (ZTC) und eine Last (8, 9) verfügen, gekennzeichnet durch:

- eine Phasenspannung-Umsetzschaltung (11) zum Berechnen einer Standardphase-Spannung ( $E$ ;  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ) aus der Leitungsspannung des Busses;
- eine Phasenvergleichsschaltung (13), um für jede Phase zu ermitteln, ob der Phasenunterschied zwischen der Standardphase-Spannung und dem sekundären Nullphase-Strom des Nullphase-Stromtransformators innerhalb eines vorgegebenen Bereichs ( $\Theta$ ) liegt;
- eine Effektivwert-Berechnungsschaltung (14) zum Berechnen des Effektivwerts des Nullphase-Stroms und zum Vergleichen desselben mit einem Schwellenwert; und
- eine Verschlechterungsbeurteilungsschaltung (15), die die Beurteilungsergebnisse von der Phasenvergleichsschaltung und der Effektivwert-Berechnungsschaltung erhält, um dann eine Isolationsverschlechterung anzuzeigen, wenn der genannte Effektivwert den genannten Schwellenwert überschreitet und gleichzeitig für mindestens eine Phase die Phasenverschiebung zwischen dem genannten Strom und der genannten Spannung innerhalb des genannten vorgegebenen Bereichs liegt.



DE 44 18 124 A 1

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Erkennen einer Isolationsverschlechterung in frühem Zustand der Verschlechterung in Stromversorgungssystemen, bei denen Lasten über jeweilige Stromkreise mit einem Bus verbunden sind.

Fig. 1 zeigt ein solches System in Verbindung mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung. Dieses System unterscheidet sich abgesehen von den Details der erfindungsgemäßen Vorrichtung nicht von bekannten Systemen, weswegen es zunächst zum Beschreiben des Standes der Technik verwendet wird. Es ist ein Spannungstransformator 1 vorhanden, an den über einen Trennschalter 2 ein Bus 3 angeschlossen ist. Mit dem Bus 3 ist eine Mehrzahl von Schaltkreisen jeweils über einen Schaltkreis-Trennschalter 5 verbunden. Jeder Schaltkreis verfügt über einen Stromtransformator CT und einen Nullphase-Stromtransformator ZCT. Es hängt an ihm eine Last, die beim dargestellten System jeweils aus einem Kabel 8 und einem Motor 9 besteht.

An den Bus ist außerdem ein geerdeter Potentialtransformator GPT angeschlossen, der an einer Tertiärwicklung eine Nullphase-Spannung E0 ausgibt.

Um eine fehlerhafte, mit Erde verbundene Leitung zu ermitteln, wird die Phase des sekundären Nullphase-Stroms I0 jedes Nullphase-Stromtransformators ZCT mit der Phase dieser Nullphase-Spannung E0 verglichen.

Ferner ist allgemein, wie es in der japanischen Patentoffenlegungsschrift Nr. 4-42726 (1992) beschrieben ist, eine Vorrichtung bekannt, die dazu dient, einen Leitungsschluß gegen Erde und die Phase in einer Versorgungsleitung dadurch zu erkennen, daß die Phase einer Spannung mit der Phase des sekundären Nullphase-Stroms des Nullphase-Stromtransformators ZCT in jeder Verteilungsleitung verglichen wird.

Jedoch werden die vorstehend genannten Vorrichtungen zum Erkennen eines Erdschlusses in Fällen verwendet, bei denen eine Isolationsverschlechterung weit fortgeschritten ist oder bei denen ein Erdschluß bereits vorliegt. Daher besteht Bedarf für eine Vorrichtung der genannten Art, mit der eine Isolationsverschlechterung im System bereits im Anfangszustand erkannt werden kann. Das heißt, daß es erforderlich ist, die genannten Phasen mit hoher Genauigkeit miteinander zu vergleichen, wobei die Genauigkeit besser sein muß als die Schwankung der Phase der Nullphase-Spannung E0, wie sie in der Tertiärwicklung des geerdeten Potentialtransformators GPT im normalen Betriebszustand auftritt. Daher kann die eben genannte Spannung in der Praxis nicht zum Vergleich herangezogen werden.

Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, daß dann, wenn beim Spannungsversorgungssystem mit mehreren Versorgungsleitungen gemäß Fig. 1 ein Erdschluß in einer einzelnen Leitung auftritt, ein Nullphase-Strom über den Erdungswiderstand im geerdeten Potentialtransformator GPT fließt und es zu einem Ungleichgewicht der Kapazitätskomponenten hinsichtlich der fehlerfreien Leitungen kommt, was auch in diesen fehlerfreien Leitungen zu Phasenveränderungen führt. Diese Phasenveränderungen sind insbesondere dann sehr groß, wenn Lasten mit großer Kapazität gegen Erde vorliegen wie z. B. beim Kabel 8 und beim Motor 9. Demgemäß kann dann, wenn die Phase einer Spannung mit der Phase des sekundären Nullphase-Stroms des Nullphase-Stromtransformators ZCT verglichen wird, wie in der japanischen Patentoffenlegung Nr. 4-42726

(1992) beschrieben, die fehlerbehaftete Leitung nicht zuverlässig von den fehlerfreien Leitungen unterschieden werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zum Erkennen einer Isolationsverschlechterung zu schaffen, die eine Isolationsverschlechterung bereits in frühem Zustand erkennt.

Die Erfindung ist durch die Lehre von Anspruch 1 gegeben. Sie zeichnet sich insbesondere dadurch aus, daß nicht nur ein Vergleich zwischen den Phasen einer Spannung und eines Stroms ausgeführt wird, sondern daß auch überprüft wird, ob der Effektivwert des sekundären Nullphase-Stroms des Nullphase-Stromtransformators ZCT in jeder Versorgungsleitung einen vorgegebenen Wert überschreitet. Nur wenn die Phasenverschiebung so klein wird, daß sie in einem vorgegebenen Bereich liegt und zusätzlich der genannte Stromeffektivwert die gesetzte Schwelle überschreitet, wird hieraus eine Isolationsverschlechterung erkannt.

Vorzugsweise ist eine Maximalwert-Vergleichsschaltung vorhanden, die dann, wenn eine Isolationsverschlechterung in mehreren Schaltkreisen festgestellt wird, denjenigen Schaltkreis als den fehlerbehafteten beurteilt, für den der genannte Stromeffektivwert am größten ist.

Der genannte Phasenvergleich wird für alle Phasen der Netzspannung und für alle Schaltkreise ausgeführt. Wenn die obengenannten Bedingungen für eine der Phasen in einem der Schaltkreise erfüllt sind, wird die fehlerbehaftete Phase angezeigt.

Vorzugsweise wird überprüft, ob eine Isolationsverschlechterung in mehr als einem Schaltkreis festgestellt wird. Ist dies der Fall, wird daraus geschlossen, daß eine Isolationsverschlechterung im Bus vorliegt, an den die Kreise angeschlossen sind.

Ein technisch entscheidender Punkt der Erfindung ist es, daß sich die Phase der Sekundärspannung des geerdeten Potentialtransformators ändert, wenn sich der Nullpunkt der Spannung in diesem Transformator verändert. Die Leitungsspannung auf dem Bus ändert sich nicht, und es wird ihr Absolutwert verwendet, mit einer Phasenverzögerung der Standardphase-Spannung E1 von 30°, d. h. von  $1/\sqrt{3}$ . Die anderen Standardphase-Spannungen E2, E3 sind auf einen Phasenunterschied von 120° zur Standardphase-Spannung E1 eingestellt.

Andererseits fließt ein Leckstrom, der durch das Isolationsmaterial der Last gegen Erde fließt, nicht an der Oberfläche des Isolationsmaterials, und ein Ladestrom fließt gegen Erde, wenn die dielektrische Beanspruchung normal ist. Demgemäß hat der sekundäre Nullphase-Strom des Nullphase-Stromtransformators eine Phasenverteilung von nahezu 90° gegenüber jeder Standardphase-Spannung.

Wenn sich jedoch die dielektrische Beanspruchbarkeit verschlechtert, steigt der Oberflächenleckstrom an, wodurch es zu einem Leckstrom gegen Erde kommt, und die Phase des genannten Stroms nähert sich der Phase der jeweiligen Standardphase-Spannung an.

Durch die erfindungsgemäßen Maßnahmen kann eine Isolationsverschlechterung zuverlässig in frühem Stadium erkannt werden.

Die Erfindung wird im folgenden anhand eines durch Figuren veranschaulichten Ausführungsbeispiels näher beschrieben.

Fig. 1 zeigt ein Stromversorgungssystem mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Erkennen einer Isolationsverschlechterung.

Fig. 2 zeigt ein detailliertes Blockdiagramm der in

Fig. 1 enthaltenen Vorrichtung zum Erkennen einer Isolationsverschlechterung.

Fig. 3 ist eine Skizze zur in Fig. 1 enthaltenen Last.

Fig. 4 ist ein Ersatzschaltbild der in Fig. 3 dargestellten Last.

Fig. 5a ist ein Vektordiagramm zum Erläutern der Phasenbeziehungen zwischen einer Standardphase-Spannung und Verlustströmen an einem Kabel in einem Zustand ohne Isolationsverschlechterung.

Fig. 5b ist ein Vektordiagramm für die Phasenbeziehungen zwischen verschiedenen Standardphase-Spannungen und den zugehörigen Lastströmen für den Zustand ohne Isolationsverschlechterung.

Fig. 6a und 6b sind Vektordiagramme, die denen von Fig. 5a bzw. Fig. 5b entsprechen, jedoch für einen Zustand mit Isolationsverschlechterung.

Fig. 7a bis 7c zeigen jeweils die Phasenverschiebung zwischen einer von drei Standardphase-Spannungen und dem zugehörigen Laststrom.

Fig. 8 ist ein Vektordiagramm, das Phasenbedingungen und Effektivstromstärke-Bedingungen veranschaulicht, wie sie untersucht werden, um zu beurteilen, ob eine Isolationsverschlechterung vorliegt.

Fig. 9a bis 9c sind Vektordiagramme entsprechend denen der Fig. 7a bis 7c, jedoch für eine Isolationsverschlechterung an der Busleitung statt an einem Lastkabel.

Fig. 10 ist ein Vektordiagramm entsprechend dem von Fig. 8, jedoch für den Fall einer Isolationsverschlechterung am Bus statt einem Lastkabel.

Die in Fig. 1 enthaltene Vorrichtung 6 zum Erkennen einer Isolationsverschlechterung befindet sich in einem elektrischen Stromversorgungssystem bekannter Art, wie es einleitend beschrieben wurde. Diese Vorrichtung ist an den geerdeten Potentialtransformator GPT und an die Nullphase-Stromtransformatoren ZCT der einzelnen Schaltkreise angeschlossen. Von den letzteren wird jeweils die Stärke  $I_0$  des Laststroms ausgegeben. Der geerdete Phasentransformator GPT liefert die Leitungsspannung  $E_{12}$ , aus der durch eine Phasenspannung-Umsetzschaltung 11 eine Standardphase-Spannung  $E$  ermittelt wird, die aus drei um jeweils  $120^\circ$  gegeneinander phasenverschobenen Standardphase-Spannungen  $E_1$ ,  $E_2$  und  $E_3$  besteht. Die Standardphase-Spannung  $E$  wird in eine Phasenvergleichsschaltung 13 eingegeben.

Der genannte sekundäre Nullphase-Strom  $I_0$  des Nullphase-Stromtransformatoren ZCT in jedem Schaltkreis wird über ein Netzfrequenz-Bandfilter 12 ebenfalls in die Phasenvergleichsschaltung 13 wie auch in eine Effektivwert-Berechnungsschaltung 14 eingegeben. In der Phasenvergleichsschaltung 13 wird die Standardphase-Spannung  $E$  phasenmäßig mit dem Nullphase-Strom für jede Phase verglichen.

In der Effektivwert-Berechnungsschaltung 14 wird der Effektivwert des Netzfrequenz-Nullphase-Stroms berechnet, und dieser Effektivwert wird mit einem vorgegebenen Schwellenwert  $I_0$  verglichen.

In eine Verschlechterungsbeurteilungsschaltung 15 werden zwei Signale eingegeben, nämlich eines von der Effektivwert-Berechnungsschaltung 14, das anzeigt, ob der Effektivwert des Netzfrequenz-Nullphase-Stroms den Schwellenwert  $I_0$  überschreitet, und das Ausgangssignal der Phasenvergleichsschaltung 13, das anzeigt, ob die genannte Phasendifferenz innerhalb eines vorgegebenen Bereichs  $\Theta$  liegt, wobei dieses Signal für jede Phase ausgegeben wird. Wenn die Verschlechterungsbeurteilungsschaltung erkennt, daß der genannte

Effektivwert den genannten Schwellenwert überschreitet und daß zusätzlich für mindestens eine Phase die Phasenverschiebung zwischen der genannten Spannung und dem genannten Strom innerhalb des Bereichs  $\Theta$  liegt, gibt sie ein Signal aus, das anzeigt, daß sie eine Isolationsverschlechterung erkannt hat.

Dieses Signal wird unter anderem an eine Maximalwert-Vergleichsschaltung 16 ausgegeben, die ein entsprechendes Signal für alle Schaltkreise erhält. Sie beinhaltet für jeden Schaltkreis einen eingebauten Schalter, der durch das Ausgangssignal der Verschlechterungsbeurteilungsschaltung 15 aktiviert wird, woraufhin sie von der Effektivwert-Vergleichsschaltung 14 den Effektivwert des genannten Stroms für den jeweiligen Schaltkreis einliest. Wenn für mehrere Schaltkreise eine Isolationsverschlechterung festgestellt wurde, werden demgemäß mehrere Effektivwerte eingelesen, und es wird letztendlich derjenige Schaltkreis als derjenige mit Isolationsverschlechterung bewertet, für den der Effektivwert am größten ist. Dieses Ergebnis wird auf einer Anzeige 19 dargestellt.

Wie bereits ausgeführt, beurteilt die Verschlechterungsbeurteilungsschaltung 15 für jede Phase des Drehstroms, ob die Phasenverschiebung zwischen der jeweiligen Spannungs- und Stromkomponente innerhalb des Bereichs  $\Theta$  liegt; außerdem nimmt sie die genannte Prüfung dahingehend vor, ob der Stromeffektivwert den genannten Schwellenwert überschreitet. Das Beurteilungsergebnis wird für alle Phasen und Schaltkreise in eine gemeinsame Ausgangsschaltung 17 eingegeben. Diese gemeinsame Ausgangsschaltung 17 gibt an die Anzeige 19 ein Signal aus, das die Phase kennzeichnet, die von einer Isolationsverschlechterung betroffen ist. Vorzugsweise berücksichtigt die gemeinsame Ausgangsschaltung 17 noch das Ausgangssignal der Maximalwert-Vergleichsschaltung 16, das anzeigt, welcher Schaltkreis von der Isolationsverschlechterung betroffen ist, um nur die betroffene Phase des betroffenen Schaltkreises für die Anzeige auf der Anzeigeeinrichtung 19 auszuwählen.

Fig. 2 zeigt ein Blockdiagramm der Vorrichtung 6 zum Erkennen einer Isolationsverschlechterung.

Die Phasenspannung-Umsetzschaltung 11 erhält vom geerdeten Potentialtransformator GPT am Bus 3 die Leitungsspannung  $E_{12}$  und ermittelt daraus eine Standardphase-Spannung  $E$ , die aus drei Standardphase-Spannungen  $E_1$ ,  $E_2$  und  $E_3$  besteht, wobei die Spannung  $E_1$  den Absolutwert  $1/\sqrt{3}$  mit einer Phasenverzögerung von  $30^\circ$  aufweist, und die Spannungen  $E_2$  und  $E_3$  eine Phasenverschiebung von jeweils  $120^\circ$  zur Spannung  $E_1$  einhalten. Die Spannungen  $E_1$ ,  $E_2$  und  $E_3$  werden jeweils in einen Block in der Phasenvergleichsschaltung 13 eingegeben.

Der sekundäre Nullphase-Strom  $I_0$  vom Nullphase-Stromtransformator ZCT in einem Schaltkreis wird auf das Netzfrequenz-Bandfilter 12 gegeben, durch das nur der Anteil mit Netzfrequenz an die Blöcke der Phasenvergleichsschaltung 13 und die Effektivwert-Berechnungsschaltung 14 durchgelassen wird.

In jedem Block der Phasenvergleichsschaltung 13 wird die Phase des sekundären Nullphase-Stroms mit der Phase der jeweiligen Standardphase-Spannung  $E_1$ ,  $E_2$  oder  $E_3$  verglichen. Wenn für eine Phase die Phasenverschiebung im vorgegebenen Bereich  $\Theta$  liegt, wird ein Signal, das das Erfülltsein dieser Bedingung anzeigt, an ein zur jeweiligen Phase gehörendes UND-Gatter 15a in der Verschlechterungsvergleichsschaltung 15 ausgegeben.

Die Effektivwert-Berechnungsschaltung 14 berechnet den Effektivwert des sekundären Netzfrequenz-Nullphase-Stroms, und sie vergleicht diesen Effektivwert mit dem vorgegebenen Wert  $I_{or}$ , und wenn der Effektivwert den vorgegebenen Wert überschreitet, gibt sie ein Signal, das dies anzeigt, an den jeweils zweiten Eingang der drei UND-Gatter 15a.

Das Ausgangssignal eines der UND-Gatter 15a erfährt also dann eine Pegeländerung, wenn einerseits die Effektivwert-Berechnungsschaltung 14 anzeigt, daß der genannte Effektivwert den genannten Schwellenwert überschritten hat, und wenn andererseits der zugehörige Block in der Phasenvergleichsschaltung 13 anzeigt, daß Strom und Spannung innerhalb eines vorgegebenen Phasenbereichs liegen. Die Ausgänge der UND-Gatter 15a sind auf die Eingänge eines ODER-Gatters 15b geführt.

Die Maximalwert-Vergleichsschaltung 16 erhält für jeden Schaltkreis das Ausgangssignal des zugehörigen ODER-Gatters 15b. Dadurch erfährt sie, für welchen Schaltkreis oder für welche Schaltkreise die genannten Bedingungen, die eine Isolationsverschlechterung anzeigen, erfüllt sind. Für jeden Schaltkreis, für den die Bedingungen erfüllt sind, liest sie von der Effektivwert-Berechnungsschaltung 14 den zugehörigen Stromeffektivwert ein. Sie vergleicht die Werte miteinander und wählt denjenigen Schaltkreis als Schaltkreis mit Isolationsverschlechterung aus, für den der größte Stromeffektivwert erhalten wird. Dieser Schaltkreis wird auf der Anzeige 19 angezeigt.

Um die von einer Isolationsverschlechterung betroffene Phase anzuzeigen, wird das Ausgangssignal der Maximalwert-Vergleichsschaltung 16 auf UND-Gatter 17a in der gemeinsamen Ausgangsschaltung 17 ausgegeben. Für jeden Schaltkreis liegen drei UND-Gatter 17a vor, nämlich jeweils eines für jede Phase. An seinem zweiten Eingang erhält jedes UND-Gatter 17a das Ausgangssignal des zugehörigen UND-Gatters 15a, welches Ausgangssignal anzeigt, ob beide genannten Bedingungen erfüllt sind, die eine Isolationsverschlechterung anzeigen. Liegt eine Isolationsverschlechterung für eine bestimmte Phase vor und gibt die Maximalwert-Vergleichsschaltung 16 ein Signal aus, erfährt das Ausgangssignal derjenigen UND-Gatter 17a, die beide Signale am Eingang erhalten, eine Pegeländerung. Die gemeinsame Ausgangsschaltung 17 enthält ferner drei ODER-Gatter 17b, nämlich jeweils eines für jede Phase, die an ihrem Eingang die Signale für eine jeweilige Phase für alle Schaltkreise erhalten. Sind also in irgendeinem der Schaltkreise die Bedingungen erfüllt, die eine Isolationsverschlechterung anzeigen, wird mit Hilfe der gemeinsamen Ausgangsschaltung 17 die zugehörige Phase erkannt, und diese wird auf der Anzeigeneinrichtung 19 dargestellt.

Die Maximalwert-Vergleichsschaltung 16 und die UND-Gatter 17a können auch weggelassen werden. Dann erfolgt die Verschlechterungsbeurteilung nur über die UND-Gatter 15a. Die Ausgangssignale dieser UND-Gatter werden direkt auf die ODER-Gatter 17b gegeben, um die betroffene Phase oder die betroffenen Phasen anzuzeigen. Da jedoch die Möglichkeit besteht, daß gleichzeitig von mehreren Schaltkreisen eine Isolationsverschlechterung angezeigt wird und daß dies darüber hinaus unter Umständen für mehrere Phasen erfolgt, wird die Zuverlässigkeit der Beurteilung erhöht, wenn dies Maximalwert-Vergleichsschaltung 16 und die UND-Gatter 17a zusätzlich verwendet werden.

Nachfolgend wird der Aufbau der in Fig. 3 dargestell-

ten Last erläutert, um die Funktion der Vorrichtung 6 zum Erkennen einer Isolationsverschlechterung verständlich zu machen.

Vom Spannungstransformator 1 wird elektrische Spannung über den Trennschalter 2, den Bus 3 und einen jeweiligen Schaltkreis-Trennschalter 5 in einen Schaltkreis mit dem Stromtransformator CT, dem Nullphase-Stromtransformator ZCT und einer Last gegeben, die aus dem Kabel 8 und dem Motor 9 besteht. Das Kabel 8 verfügt über eine statische Kapazität  $C_c$  gegen Erde hinsichtlich des Isolators zwischen dem mittleren Leiter 7 und dem geerdeten Gehäuse. Auch der Motor 9 verfügt über eine statische Kapazität  $C_m$  gegen Erde hinsichtlich des Isolators zwischen dem Stator 10 in jeder Phase und dem geerdeten Gehäuse. Wie in Fig. 4 dargestellt, fließt aufgrund der statischen Kapazitäten  $C_c$  gegen Erde ein Leckstrom  $I_{of}$ . Der Leckstrom  $I_{of}$  gegen Erde fließt durch den Nullphase-Stromtransformator ZCT und wird dem Kabel 8 und dem Motor 9 zugeführt.

Der Leckstrom  $I_{oc}$  im Kabel 8 besteht nicht nur aus einem Ladestrom  $I_{cc}$  für die genannte statische Kapazität  $C_c$ , was das Kabel betrifft, sondern auch aus einem Oberflächenleckstrom  $I_{sc}$ . Entsprechend gilt für den Leckstrom für den Motor 9, daß dieser aus einem Ladestrom  $I_{om}$  für die statische Kapazität  $C_m$  und einem Oberflächenleckstrom  $I_{sm}$  besteht. Ohne Isolationsverschlechterung besteht der Leckstrom  $I_{of}$  nur aus den durch die statischen Kapazitäten bedingten Ladeströmen  $I_{cc}$  und  $I_{om}$  für das Kabel 8 bzw. den Motor 9. Bei der folgenden Erläuterung entspricht der Leckstrom  $I_{of}$  gegen Erde dem Netzfrequenz-Nullphase-Strom.

Die Fig. 5(a) und 5(b) zeigen Phasenbeziehungen zwischen Spannungen und Strömen in einem Zustand ohne Isolationsverschlechterung. Wie aus Fig. 5(a) erkennbar, weist der Kapazitätsladestrom  $I_{cc}(I_{cm})$ , wie er durch die statische Kapazität des Isolators gegen Erde hervorgerufen wird, eine voreilende Phase von  $90^\circ$  zur Standardphase-Spannung  $E$  auf. Der Oberflächenleckstrom  $I_{sc}(I_{sm})$ , der entlang der Oberfläche des Isolators fließt, ist in Phase mit der Standardphase-Spannung, und er ist normalerweise sehr klein, weswegen die gesamten Leckströme  $I_{of1}$ ,  $I_{of2}$ ,  $I_{of3}$  (wie in Fig. 5(b) dargestellt) gegen Erde in jeder Versorgungsleitung für die drei Standardphase-Spannungen  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  nahezu um  $90^\circ$  voreilen, wobei die Vektorsumme für die drei Phasen der elektrischen Ströme  $I_{of1}$ ,  $I_{of2}$ ,  $I_{of3}$  immer Null ist.

Wenn dagegen die Isolierung am Kabel 8 und/oder am Motor 9 verschlechtert ist, steigt der Oberflächenleckstrom  $I_{sc}(I_{sm})$  an, und der gesamte Leckstrom  $I_{oc}(I_{om})$  gegen Erde nähert sich der Phase der Standardphase-Spannung  $E$  an, wie in Fig. 6(a) dargestellt. Der Leckstrom  $I_{of}$  der Versorgungsleitung gegen Erde besteht aus den kombinierten Leckströmen  $I_{of1}$ ,  $I_{of2}$  und  $I_{of3}$ . Beim in Fig. 6(b) dargestellten Beispiel ist der Oberflächenleckstrom  $\alpha$  als Anteil des Leckstrom  $I_{of1}$  stark angewachsen, wodurch dieser Leckstrom  $I_{of1}$  nicht mehr eine Phasenverschiebung von beinahe  $90^\circ$  zur Standardphase-Spannung  $E_1$  aufweist, sondern eine sehr viel kleinere Phasenverschiebung.

Die Fig. 7(a) bis 7(c) zeigen die Phasenbeziehungen zwischen den gegen Erde fließenden Leckströmen  $I_{of1}$ ,  $I_{of2}$  und  $I_{of3}$ , wie sie in der Primärwicklung des Nullphasen-Stromtransformators ZCT in jedem Schaltkreis fließen, und den Standardphase-Spannungen  $E_1$ ,  $E_2$  bzw.  $E_3$ . Dabei zeigt Fig. 7(a) den Fall für eine verschlechterte Phasenleitung in einem Schaltkreis, während die Fig. 7(b) und 7(c) den Zustand für die nicht

verschlechterten Leitungen in diesem Kreis zeigen. Aus der Figur ist erkennbar, daß der gegen Erde fließende Leckstrom I0f1, wie er durch die Verschlechterung des elektrischen Isolators in der ersten Phasenleitung des verschlechterten Schaltkreises fließt, einen Einfluß auf eine nicht verschlechterte Phasenleitung hat, so daß es zu gegen Erde fließenden Leckströmen I0f2, I0f3 kommt, die eine Phase nahe an der zweiten Phase aufweisen. Jedoch ist die elektrische Stromstärke der Leckströme I0f2 und I0f3 gegen Erde klein.

Nachfolgend wird die Funktion der Vorrichtung 6 zum Erkennen einer Isolationsverschlechterung auf Grundlage der vorstehenden Untersuchungsergebnisse erläutert. Wenn sich die Nullpunktspannung des geerdeten Potentialtransformators GPT ändert und sich damit die Standardphase-Spannungen E1, E2 und E3 ändern, wie sie aus der Leitungsspannung E12 vom Bus 3 erhalten werden, besteht keine Gefahr, daß sich die sekundäre Phasenspannung des geerdeten Potentialtransformators GPT ändert, wie beim Stand der Technik, und die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Erfassung werden verbessert.

Die tertiäre Nullphase-Spannung E0 des geerdeten Potentialtransformators GPT wird nicht verwendet, wie dies aus dem Stand der Technik bekannt ist, weswegen eine durch diese Nullphase-Spannung E0 hervorgerufene Fehlbeurteilung vermieden wird und es zu einer Erkennungsgenauigkeit kommt, die eine größere Genauigkeit aufweist, als es der Schwankung der Restspannung entspricht.

Wenn die in Fig. 1 dargestellte Phasenvergleichsschaltung 13 erkennt, daß die Phasendifferenz zwischen dem Leckstrom I0f1 gegen Erde und der Standardphase-Spannung E1 einer verschlechterten Phasenleitung in einem vorabvorgegebenen Bereich  $\Theta$  liegt, wie er in Fig. 8 dargestellt ist, wird ein Signal, das dieses anzeigt, in die Verschlechterungsbeurteilungsschaltung 15 eingegeben. Wenn der Leckstrom I0f1 gegen Erde den Schwellenwert Ior überschreitet, wie dies ebenfalls in Fig. 8 veranschaulicht ist, wird ein entsprechendes Signal ebenfalls in die Verschlechterungsbeurteilungsschaltung 15 von der Effektivwert-Berechnungsschaltung 14 aus eingegeben, die dieses Signal auch an die Maximalwert-Vergleichsschaltung 16 ausgibt.

Von der Effektivwert-Berechnungsschaltung 14 wird kein Effektivwert für die Leckströme I0f2 und I0f3 für die anderen Phasenleitungen, die phasenmäßig nahe bei der Sekundärphase liegen, ausgegeben, da diese Effektivwerte kleiner als der Schwellenwert Ior sind.

Demgemäß wird erkannt, daß die erste Phase die Phase mit Verschlechterung ist und daß die Leitung, die diese Phase führt, die Leitung mit Verschlechterung ist.

Der Bereich  $\Theta$  als Vorgabewert für die Phasendifferenz zwischen dem Leckstrom I0f1 gegen Erde und der Standardphase-Spannung E1 sollte zumindest auf die voreilende Seite eingestellt sein, jedoch ist bei diesem Ausführungsbeispiel der Bereich  $\Theta$  zur voreilenden und nacheilenden Seite eingestellt, um den Schaltungsaufbau zu vereinfachen.

Nachfolgend wird ein Verfahren erläutert, wie ein Erdschluß einer Leitung des Busses 3 erkannt werden kann.

Wenn ein Erdschluß einer Leitung im Bus 3 auftritt, wirkt der durch die statische Kapazität des Isolators hervorgerufene Ladestrom gegen Erde als Ungleichgewichtskomponente für die Tertiärphase auf die Primärseite des Nullphase-Stromtransformators ZCT, und die Leckströme I0f1, I0f2 und I0f3 gegen Erde werden für

jede Phasenleitung aufgrund der Phasenbeziehungen erkannt, wie sie in den Fig. 9(a) bis 9(c) dargestellt sind.

Sowohl die Phasen der Spannungen als auch die Phasen der elektrischen Ströme dieser Leckströme I0f1, I0f2 und I0f3 gegen Erde ändern sich stark abhängig vom Ausmaß des Masseschlusses, wie in Fig. 10 dargestellt, und es wird der Erkennungswert Ior überschritten. Auch kann die Phasendifferenz zwischen der Phase mit Erdschluß und der davon verschiedenen Spannungsphase im Vorgabebereich  $\Theta$  liegen, und zwar abhängig vom Ausmaß des Leckstroms gegen Erde, wie durch die Ungleichgewichtskomponente der Ladeströme gegen Erde der Phasenleitungen hervorgerufen.

Wenn jedoch die Phasen der Leckströme I0f1, I0f2, I0f3 gegen Erde für jede Leitung zur Übereinstimmung kommen, wie in Fig. 10 dargestellt, wird dieser Fall als ein solcher beurteilt, bei dem ein Fehler auf der Busseite aufgetreten ist. Durch eine in Fig. 1 dargestellte Schaltung 8 für gleichzeitigen Phasenvergleich für mehrere Leitungen wird durch einen Block 18a, wie er für jede Phase vorliegt, berechnet, ob vom UND-Gatter 15a für die zugehörige Phase ein Verschlechterungsbeurteilungssignal ausgegeben wird. Die Ausgangssignale der drei Blöcke 18a für die jeweiligen Phasen werden auf ein in Fig. 2 dargestelltes ODER-Gatter 18b gegeben, um auf der Anzeigeeinrichtung 19 eine Busverschlechterung anzuzeigen, wenn für mehr als zwei Schaltkreise eine Verschlechterung für dieselbe Phase angezeigt wird.

Beim vorliegenden Ausführungsbeispiel wird die Leitungsspannung vom Bus 3 über den mit dem Bus 3 verbundenen geerdeten Potentialtransformator GPT geliefert, jedoch kann mit dem Bus 3 auch ein Potentialtransformator verbunden sein, damit die Leitungsspannung des Busses 3 von diesem Potentialtransformator ausgegeben wird.

Wie vorstehend erläutert, wird bei der Erfindung die Phase des sekundären Nullphase-Stroms vom Nullphase-Stromtransformator in einem Schaltkreis mit der Standardphase-Spannung verglichen, die aus der Leitungsspannung auf dem Bus gewonnen wurde. Dadurch kann durch Spannungsänderungen, die kleiner sind als die Änderungen der tertiären Nullphase-Spannung des geerdeten Potentialtransformators, wie sie bei dessen Betrieb auftreten, die Verschlechterung einer elektrischen Isolierung erkannt werden, und es kann der Einfluß der sich ändernden Phasenspannung unberücksichtigt bleiben, und eine Isolierungsverschlechterung kann mit hoher Empfindlichkeit und Genauigkeit bereits in frühem Verschlechterungszustand erkannt werden.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung (6) zum Erkennen einer Leitungsver Verschlechterung in einem Stromversorgungssystem mit einem mit einer Spannungsversorgung (1) verbundenen Bus (1) und mit mehreren mehreren mit dem Bus verbundenen Schaltkreisen, die jeweils über einen Nullspannungstransformator (ZTC) und eine Last (8, 9) verfügen, gekennzeichnet durch:

- eine Phasenspannung-Umsetzschaltung (11) zum Berechnen einer Standardphase-Spannung (E; E1, E2, E3) aus der Leitungsspannung des Busses;
- eine Phasenvergleichsschaltung (13), um für jede Phase zu ermitteln, ob der Phasenunterschied zwischen der Standardphase-Spannung



und dem sekundären Nullphase-Strom des Nullphase-Stromtransformators innerhalb eines vorgegebenen Bereichs ( $\Theta$ ) liegt;

— eine Effektivwert-Berechnungsschaltung (14) zum Berechnen des Effektivwerts des Nullphase-Stroms und zum Vergleichen desselben mit einem Schwellenwert; und  
 — eine Verschlechterungsbeurteilungsschaltung (15), die die Beurteilungsergebnisse von der Phasenvergleichsschaltung und der Effektivwert-Berechnungsschaltung erhält, um dann eine Isolationsverschlechterung anzuzeigen, wenn der genannte Effektivwert den genannten Schwellenwert überschreitet und gleichzeitig für mindestens eine Phase die Phasenverschiebung zwischen dem genannten Strom und der genannten Spannung innerhalb des genannten vorgegebenen Bereichs liegt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Maximalwert-Vergleichsschaltung (16), die das Ausgangssignal der für jeden Schaltkreis vorliegenden Verschlechterungsbeurteilungsschaltung (15) und das Ausgangssignal der für jeden Schaltkreis vorliegenden Effektivwert-Berechnungsschaltung (14) erhält, und die denjenigen Schaltkreis als einen von einer Isolationsverschlechterung betroffenen Schaltkreis bestimmt, für den der höchste Stromeffektivwert unter den Schaltkreisen vorliegt, für die die jeweils zugehörige Verschlechterungsbeurteilungsschaltung eine Verschlechterung anzeigt.

3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß sie das Ergebnis der für jede Phase vorgenommenen Erkennung gesondert auf einer Anzeigeeinrichtung (19) ausgibt.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, gekennzeichnet durch eine Schaltung (18) zum gleichzeitigen Untersuchen von Isolationsverschlechterungen in mehreren Schaltkreisen für jeweils dieselbe Phase, um dann eine Isolationsverschlechterung des Busses (3) anzuzeigen, wenn in mindestens zwei Schaltkreisen eine Leitungsver-  
 schlechterung für dieselbe Phase angezeigt wird.

5. Vorrichtung (6) zum Erkennen einer Isolationsverschlechterung mit Bussen (3), die mit einer Spannungsversorgung (1) verbunden sind, wobei mehrere Versorgungsleitungen jeweils mit den Bussen verbunden sind und Lasten (8, 9) aufweisen und wobei jeweils Nullphase-Stromtransformatoren (ZCT) mit den Bussen verbunden sind, gekennzeichnet durch:

- eine Phasenspannung-Vergleichsschaltung (11) zum Berechnen einer Standardphase-Spannung (E; E1, E2, E3) aus der Leitungsspannung der Busse;
- Ermittlungseinrichtungen (13) zum Ermitteln, ob die Phasendifferenz zwischen der Standardphase-Spannung und dem sekundären Nullphase-Strom des Nullphase-Stromtransformators innerhalb eines vorgegebenen Bereichs ( $\Theta$ ) liegt;
- wobei der sekundäre Nullphase-Strom über einem Schwellenwert liegt; und
- eine Beurteilungseinrichtung (15) zum Erkennen auf eine Verschlechterung der mit dem Nullphase-Stromtransformator verbundenen Last, wenn ein Ermittlungssignal von einer der Ermittlungseinrichtungen erhalten wird.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, gekennzeichnet durch mehrere Potentialtransformatoren, die jeweils mit den Bussen verbunden sind, wobei sekundäre Leitungsspannungen derselben den Bussen zugeführt werden.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5, gekennzeichnet durch eine Maximalwert-Vergleichseinrichtung (16) zum Auswählen des Maximalwerts von Nullphase-Strömen der Versorgungsleitungen, wie von einer der Ermittlungseinrichtungen für jede Phase geliefert, wobei die Maximalwert-Vergleichseinrichtung auf eine Isolationsverschlechterung derjenigen Last erkennt, die zur Versorgungsleitung des Nullphase-Stroms gehört, die durch die Maximalwert-Vergleichseinrichtung ausgewählt wurde.

8. Vorrichtung (6) zum Erkennen einer Isolationsverschlechterung mit Bussen (3), die mit einer Spannungsversorgung (1) verbunden sind, wobei mehrere Versorgungsleitungen jeweils mit den Bussen verbunden sind und Lasten (8, 9) aufweisen und wobei jeweils Nullphase-Stromtransformatoren (ZCT) mit den Bussen verbunden sind, gekennzeichnet durch:

- eine Phasenspannung-Vergleichsschaltung (11) zum Berechnen einer Standardphase-Spannung (E; E1, E2, E3) aus der Leitungsspannung der Busse;
- Ermittlungseinrichtungen (13) zum Ermitteln, ob die Phasendifferenz zwischen der Standardphase-Spannung und dem sekundären Nullphase-Strom des Nullphase-Stromtransformators innerhalb eines vorgegebenen Bereichs ( $\Theta$ ) liegt;
- wobei der sekundäre Nullphase-Strom über einem Schwellenwert liegt; und
- eine Beurteilungseinrichtung (15) zum Beurteilen, daß eine Verschlechterung bei derjenigen Last aufgetreten ist, die zu derjenigen Phase gehört, für die ein Ermittlungssignal ausgegeben wurde, um von diesen Ermittlungseinrichtungen eine Isolationsverschlechterung anzuzeigen.

9. Vorrichtung (6) zum Erkennen einer Isolationsverschlechterung mit Bussen (3), die mit einer Spannungsversorgung (1) verbunden sind, wobei mehrere Versorgungsleitungen jeweils mit den Bussen verbunden sind und Lasten (8, 9) aufweisen und wobei jeweils Nullphase-Stromtransformatoren (ZCT) mit den Bussen verbunden sind, gekennzeichnet durch:

- eine Phasenspannung-Vergleichsschaltung (11) zum Berechnen einer Standardphase-Spannung (E; E1, E2, E3) aus der Leitungsspannung der Busse;
- Ermittlungseinrichtungen (13) zum Ermitteln, ob die Phasendifferenz zwischen der Standardphase-Spannung und dem sekundären Nullphase-Strom des Nullphase-Stromtransformators innerhalb eines vorgegebenen Bereichs ( $\Theta$ ) liegt;
- wobei der sekundäre Nullphase-Strom über einem Schwellenwert liegt; und
- eine Vergleichseinrichtung (18) zum Vergleichen, ob die Phasen der Ermittlungssignale, wie sie zumindest von den zwei Ermittlungseinrichtungen in jeder Phase einer Versorgungsleitung geliefert werden, gleich sind; und
- eine Beurteilungseinrichtung (15) zum Be-

urteilen des Busses als Position, in dem ein  
Überschlag auftrat, wenn das Ermittlungssi-  
gnal von der Vergleichseinrichtung geliefert  
wird.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

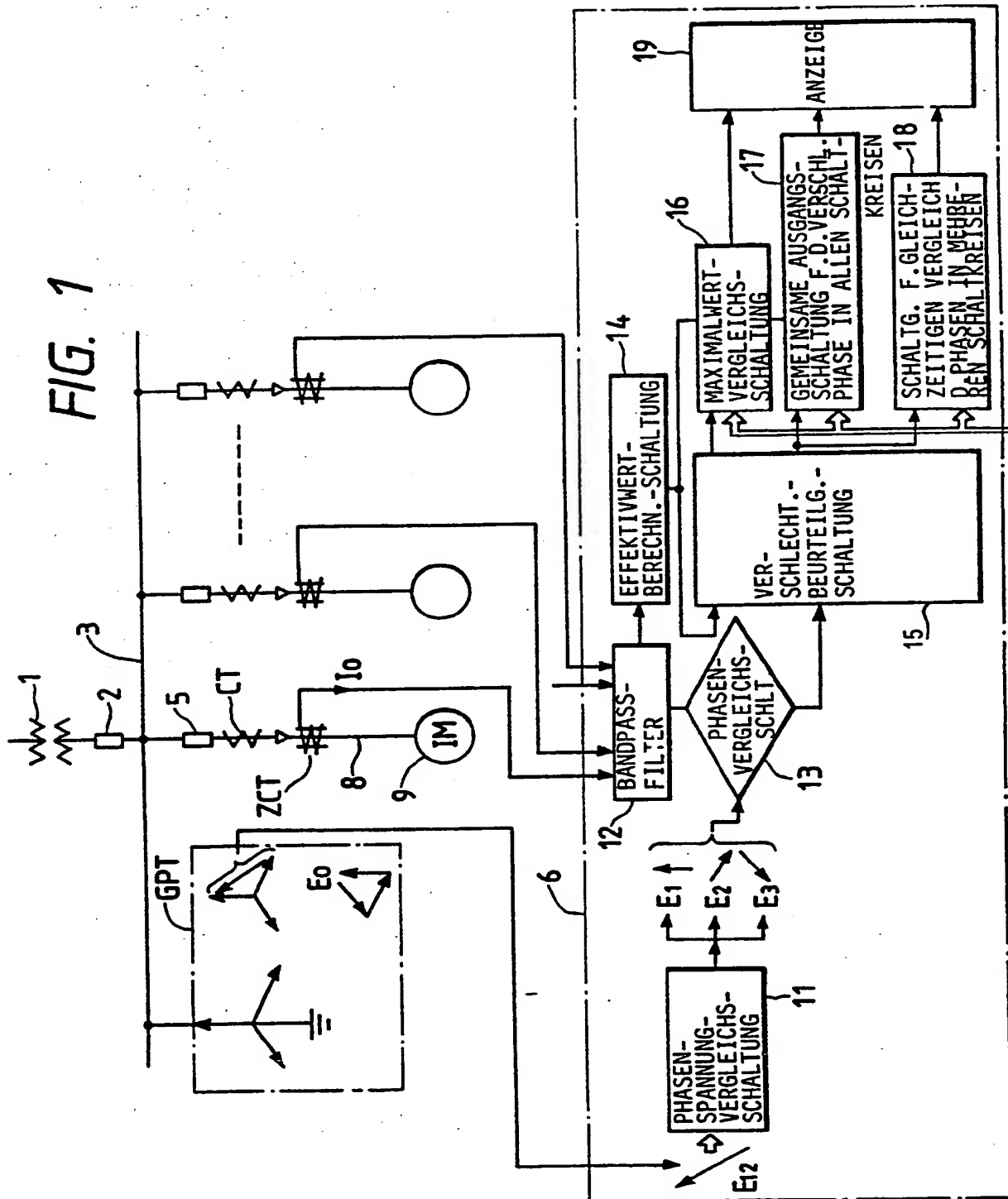
60

65

- Leerseite -



FIG. 1



VON ANDEREN SCHALTKREISEN

FIG. 2

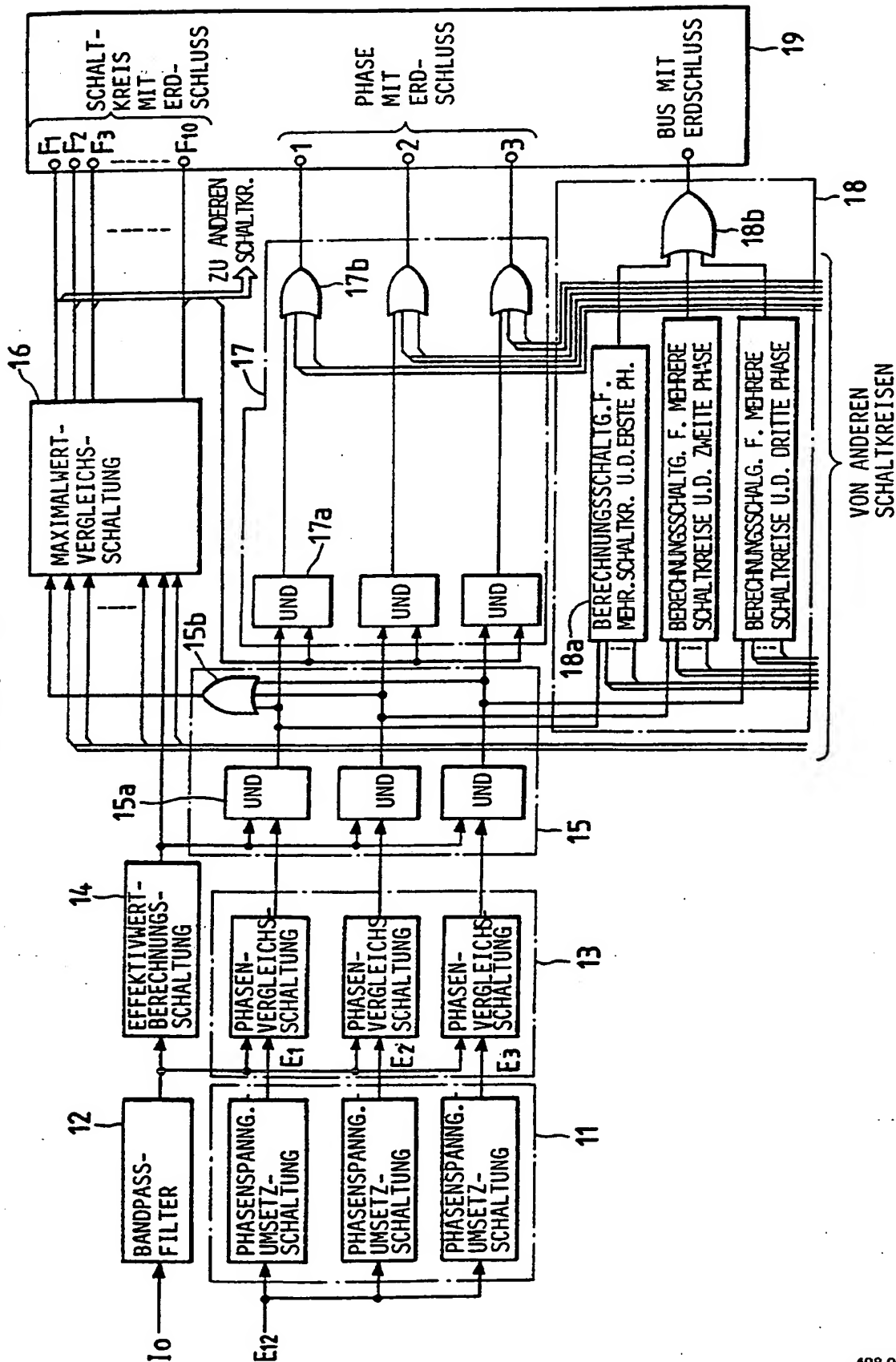


FIG. 3

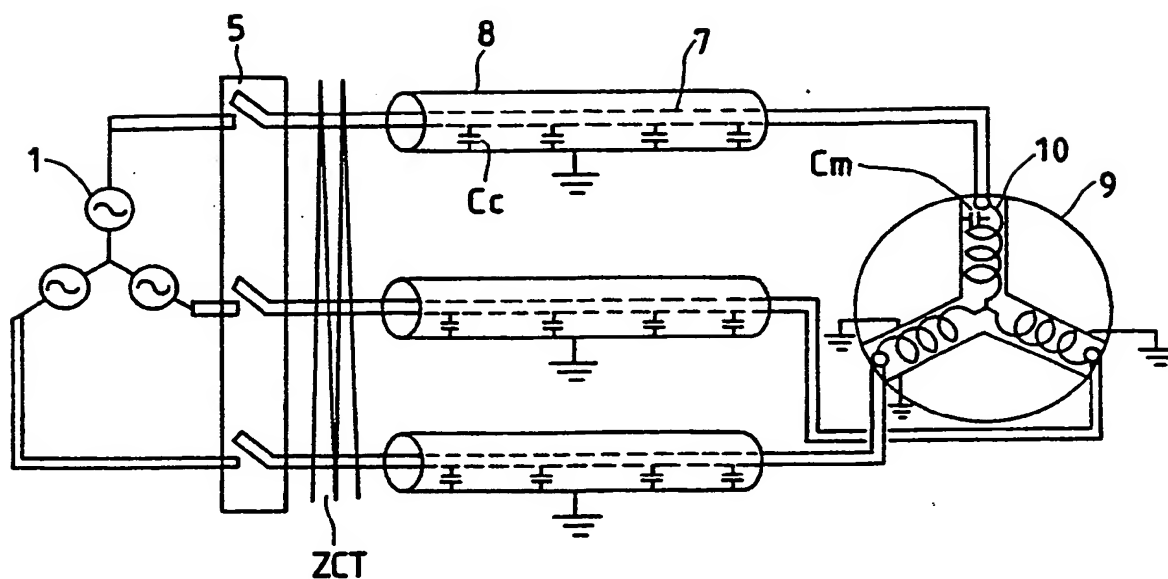


FIG. 4

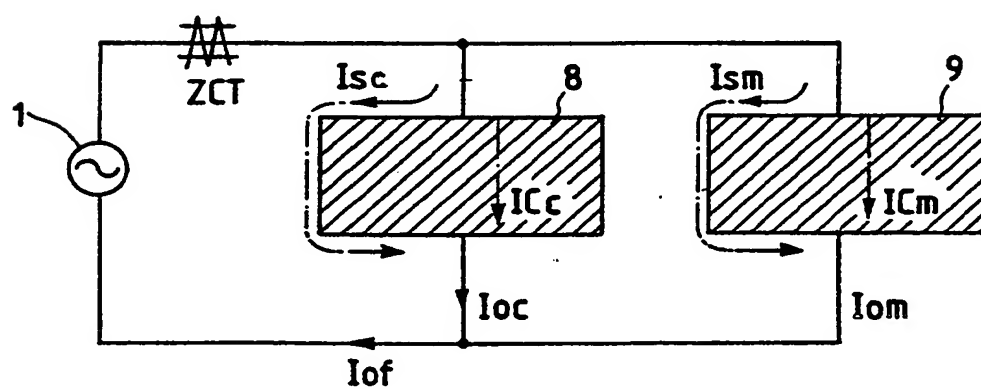


FIG. 5(a)

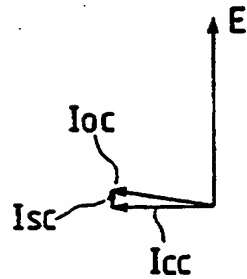


FIG. 5(b)

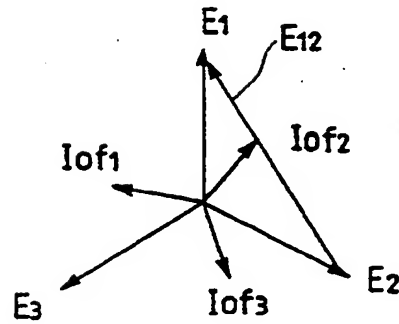


FIG. 6(a)

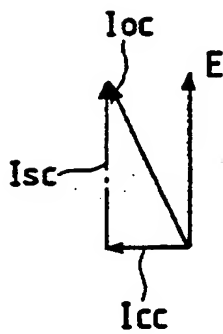


FIG. 6(b)

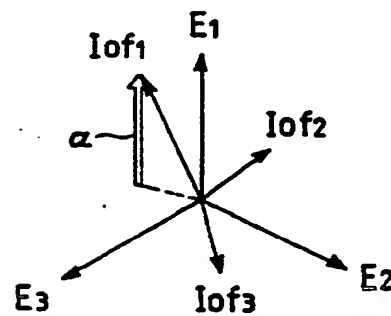


FIG. 7(a) FIG. 7(b) FIG. 7(c)

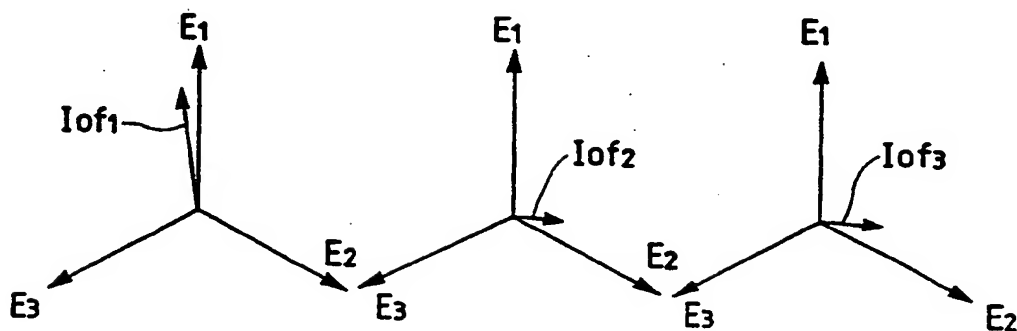


FIG. 8

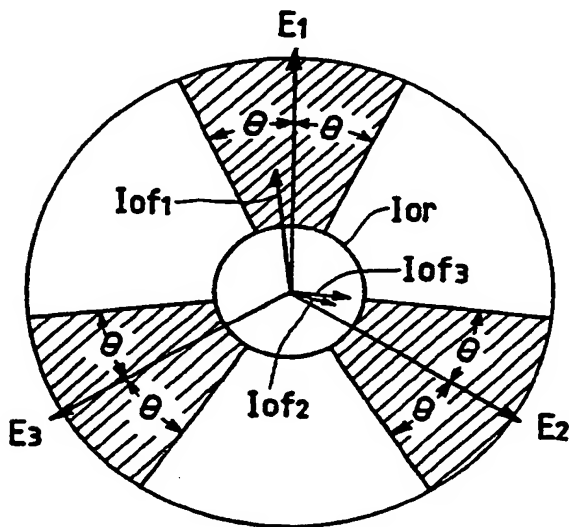


FIG. 9(a) FIG. 9(b) FIG. 9(c)

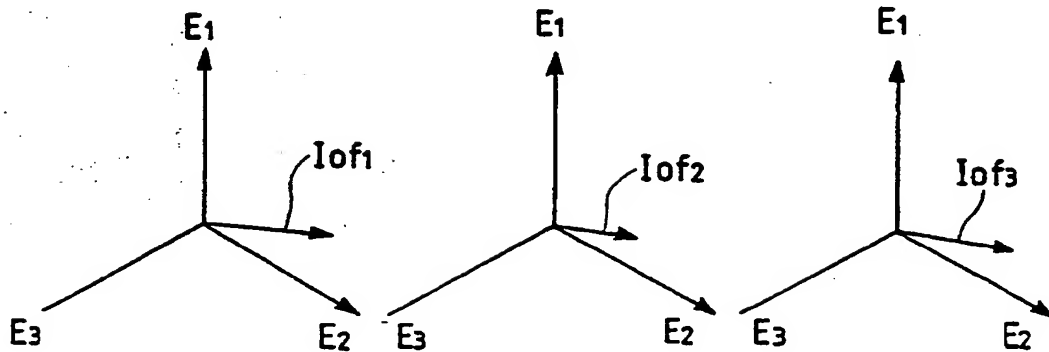


FIG. 10

